

Projet de parc éolien en mer de Dunkerque et son raccordement électrique

Cycle de concertation dédié à l'environnement

Atelier Conditions hydrosédimentaires
- Impacts & mesures

Compte-rendu

Jeudi 17 mars 2022

Lieu : Halle aux Sucres, Dunkerque

Intervenants :

- **Xavier ARNOULD, EMD - EDF Renouvelables**, directeur de projet
- **Maxime PLANQUE, EMD - EDF Renouvelables**, chef de projet éolien en mer
- **Caroline FIGUET, EMD - EDF Renouvelables**, cheffe de projet environnement

- **Christine LOMBARD, RTE**, responsable concertation et autorisations
- **Nicolas VINTRIN, RTE**, chef de projet
- **Pauline BRANDT, RTE**, chargée d'études concertation environnement

- **Olivier RAILLARD, Actimar**, expert environnement marin
- **Benoit WAELES, BW-CGC**, consultant génie côtier
- **Fabrice PLUQUET, ACRI-In**, docteur ingénieur en géosciences marines

Animation :

- **Camille RADIGUET**, agence Sennse

Garants de la Commission nationale du débat public (CNDP) :

- **Jacques ROUDIER**
- **Claude BREVAN**

Date et horaires de la réunion : jeudi 17 mars 2021 de 10h à 12h

Objet et déroulé de l'atelier :

Conditions hydrosédimentaires - Impacts & mesures

- Introduction
- Présentation des effets des ouvrages du parc éolien en mer sur les conditions hydrosédimentaires aux différentes phases du projet (travaux d'installation, puis exploitation)
Temps de travail et d'échanges
- Présentation des effets des ouvrages du raccordement sur la turbidité lors de la phase des travaux d'installation
Temps de travail et d'échanges
- Conclusions et perspectives

Liste des participants à la réunion

Association ADELE (Association de Défense de l'Environnement du Littoral Est)

- Michel MARIETTE, Vice-Président

Comité Régional de la Conchyliculture Normandie – Mer du Nord

- Paulin LECONTE, chargé de mission

Coordination Mammalogique du Nord de la France (CMNF)

- Jacky KARPOUZOPOULOS, Président et responsable du groupe "mammifères marins"
- Océane GUITTENY

Comité régional des pêches et élevages maritimes (CRPMEM) des Hauts-de-France

- Dimitri COLLARD, chargé de mission
- Antony VIERA, secrétaire général
- Manon WITORSKI

GOELAND (Groupe d'Observation et d'Etudes des Lieux Anthropiques et Naturels proches de Dunkerque)

- Bernard BRIL, président

Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) et GOELAND (Groupe d'Observation et d'Etudes des Lieux Anthropiques et Naturels proches de Dunkerque)

- Jean-Pierre LENFANT

Introduction

La séance se déroule en format plénière à la Halle aux Sucres avec la diffusion d'un support de présentation. La réunion est diffusée simultanément en visioconférence : les participants à distance sont invités à intervenir et à poser leurs questions en se signalant grâce au bouton « lever la main » ou via l'outil de discussion. Après une présentation des modalités et du déroulé de la réunion ainsi que des intervenants, la séance débute.

Jacques ROUDIER, garant nommé par la Commission Nationale du Débat Public (CNDP), introduit la rencontre en rappelant le cadre général de la concertation dans lequel s'inscrit ce cycle de concertation et cet atelier thématique. Il précise que le droit à l'information et la participation aux décisions pour le public dans le cadre de projets ayant un impact sur l'environnement est inscrit dans le droit constitutionnel.

Dans le cadre du projet de parc éolien en mer de Dunkerque et son raccordement électrique, ce droit s'est préalablement traduit par un débat public, organisé entre septembre et décembre 2020 par la CNDP. Suite à ce débat public et à la décision prise par les maîtres d'ouvrage EMD et RTE de poursuivre le développement du projet, une nouvelle étape de concertation s'est engagée et se tiendra jusqu'à l'enquête publique qui sera organisée par les services de l'État dans le cadre de l'instruction des demandes d'autorisations du projet.

Cette démarche de concertation post débat public a été placée sous l'égide de deux garants nommés par la CNDP. Dans le cadre de leur mission, ces derniers sont neutres, c'est-à-dire qu'ils n'expriment pas d'avis sur le projet et ils sont indépendants des maîtres d'ouvrage. Leur rôle est de veiller à la mise en œuvre des valeurs et des principes du débat public, que sont la transparence, l'argumentation, l'égalité de traitement, l'inclusion et le respect mutuel.

Ils rendront également compte des échanges et des actions mises en œuvre dans un bilan de la concertation post-débat public qui fera partie des pièces du dossier soumis à l'enquête publique.

Xavier ARNOULD, directeur de projet pour Eoliennes en Mer de Dunkerque (EMD), remercie les participants pour leur présence et leur implication dans les échanges, qui s'avèrent très enrichissants grâce à leur niveau de connaissance, à leur perception des enjeux du territoire, à leur regard extérieur et à leurs interrogations.

Il indique que la réunion de ce jour porte sur deux sujets qui n'ont pu être traités lors des précédents ateliers organisés à l'automne 2021 et qui étaient dédiées à l'état initial, à savoir les fonds marins et la turbidité. Ces deux sujets, regroupés sous l'intitulé « conditions hydrosédimentaires », se situent à l'intersection entre l'état initial et les impacts du projet sur certains compartiments ou espèces.

Maxime PLANQUE, chef de projet éolien en mer pour EMD, revient sur la démarche engagée et le contexte de la réunion. Il rappelle qu'il s'agit du troisième cycle d'ateliers, consécutifs à ceux organisés à l'automne et en décembre 2021. Ces ateliers dédiés à la thématique de l'environnement et à destination des parties prenantes du territoire visent à partager les résultats des études menées pour élaborer l'étude d'impact environnemental du projet, préalablement au dépôt des demandes d'autorisations auprès des services de l'État. Les ateliers suivent ainsi le séquençage de l'étude d'impact : l'état initial de l'environnement du projet a d'abord été présenté à l'automne 2021, avant une présentation du projet et de ses caractéristiques en décembre 2021, dans un contexte réglementaire nouveau qui est celui des autorisations à caractéristiques variables. Ce troisième et dernier cycle d'ateliers, qui se déroule en mars 2022, permet de partager les informations et résultats relatifs à l'évaluation des impacts du projet et les mesures associées. Les thématiques des mammifères marins, des enjeux terrestres ont été traitées lors d'ateliers précédents, tandis que le benthos et

l'halieutique, le paysage, ou encore l'avifaune et les chiroptères feront l'objet de prochains ateliers de ce cycle.

L'objectif de cet atelier est de présenter la thématique des conditions hydrosédimentaires dans la perspective de l'atelier suivant organisé le même jour l'après-midi et qui sera dédié à la thématique du benthos et des ressources halieutiques (impacts et mesures) dont les enjeux sont directement liés aux conditions hydrosédimentaires. Les éléments partagés dans le cadre du présent atelier portent ainsi sur les simulations des mouvements sédimentaires et de turbidité sur la zone du projet.

Il présente enfin le déroulé de l'atelier qui se décomposera en deux temps, avec :

- la présentation des effets des ouvrages du parc éolien (les éoliennes, leurs fondations et le réseau de câbles inter-éoliennes) sur les conditions hydrosédimentaires du site aux différentes phases du projet (travaux d'installation, puis exploitation) ;
- la présentation des effets des ouvrages du raccordement électrique du parc (poste électrique en mer et sa fondation, double liaison électrique sous-marine) sur la turbidité lors de la phase des travaux d'installation.

Pour chaque séquence, seront présentés les éléments de contexte, les objectifs de l'étude menée par les bureaux d'études, les moyens et la méthode déployée pour réaliser l'étude, les effets des ouvrages et les conclusions à en tirer qui alimenteront ensuite l'évaluation des impacts sur le benthos et les ressources halieutiques.

1. Effets des ouvrages du parc éolien en mer sur les conditions hydrosédimentaires

Caroline PIGUET, cheffe de projet environnement pour EMD, indique que l'étude des effets des ouvrages du parc éolien en mer sur les conditions hydrosédimentaires du site d'implantation et ses abords est basée à la fois sur les éléments de connaissance et informations servant à caractériser le site du projet, qui ont été recueillis par EMD lors de la phase de réponse à l'appel d'offres, ainsi que sur des études spécifiques réalisées par EMD dans le cadre de l'étude d'impact du projet. Le parc éolien sera implanté dans une zone présentant des conditions sédimentaires particulières, caractérisée par la présence de bancs de sable et de dunes sous-marines et par une forte mobilité sédimentaire. Les fondations des éoliennes, de type monopieu, sont susceptibles d'avoir un effet sur ces conditions hydrodynamiques et hydrosédimentaires. Afin d'étudier ces effets, EMD a mandaté le bureau d'études Actimar, spécialiste en modélisation hydrosédimentaire.

Les effets sur le transport sédimentaire

Olivier RAILLARD, expert environnement marin chez Actimar, explique que l'évaluation des impacts des fondations d'éoliennes sur les déplacements des bancs et sur les migrations des dunes sous-marines suppose d'apprécier leurs impacts sur les courants et la houle. L'étude menée spécifiquement dans le cadre du projet vise à évaluer les impacts des fondations du parc éolien sur les conditions hydrodynamiques et les mouvements sédimentaires sur le site d'implantation et ses abords, à la fois en phase d'exploitation du parc éolien ainsi que lors de la phase des travaux d'installation de celui-ci. Elle permettra également d'alimenter l'analyse des impacts du projet sur les composantes faune et flore, principalement le benthos et les ressources halieutiques. Elle a enfin vocation à préciser certaines caractéristiques techniques du projet et à préparer les travaux d'installation, en permettant par exemple de définir des mesures permettant de réduire l'impact sur la turbidité ou en contribuant au dimensionnement des systèmes de protection anti-affouillement installés au pieds des fondations d'éoliennes.

S'agissant des moyens et méthodes, l'outil de modélisation est mobilisé pour servir l'expertise sur les caractéristiques morfo-sédimentaires du site. Dans un premier temps, une étude préalable a été menée à partir de données historiques et contemporaines pour comprendre les évolutions bathymétriques locales et en particulier la dynamique des dunes et des bancs. Cette expertise morfo-sédimentaire est également utilisée dans le cadre de l'étude d'impact du projet. La modélisation numérique permet de simuler les courants, l'agitation et les mouvements sédimentaires, en soutien à l'analyse morfo-dynamique du site et dans l'objectif d'anticiper les effets potentiels causés par la présence des fondations des éoliennes.

Les effets liés à la présence des fondations ont été étudiés sur toutes les composantes et à différentes échelles :

- L'effet sur les courants, quasiment immédiat à l'échelle d'une marée. Les résultats des modélisations indiquent que les fondations entraînent une modification très locale des courants marins et un effet de sillage qui porte sur plusieurs centaines de mètres. En revanche, l'étude montre l'absence de cumul des effets entre les fondations, compte tenu de l'espacement important entre chacune (1 000 m environ en moyenne).
- L'effet sur les vagues. Les résultats des modélisations indiquent que les fondations ont un impact de l'ordre de dix à vingt centimètres de diminution de la hauteur significative (H_s) des vagues dans un contexte de houle incidente très forte. La présence des

fondations des éoliennes entraîne une réduction de l'agitation en aval de chacune d'elles qui s'étale sur plusieurs centaines de mètres.

- L'effet sur le transport sédimentaire. A l'échelle de deux marées successives, les modélisations menées indiquent que les fondations ont un impact local sur le transport sédimentaire. Elles provoquent un léger ralentissement des transports solides à l'échelle du parc, compris entre 2 et 7 % selon les secteurs.

Les conséquences de la présence des fondations sur les dynamiques sédimentaires du site d'implantation doivent être analysées sur plusieurs années, dans la mesure où ces petits effets peuvent se cumuler les uns aux autres dans le temps. Pour cela, il faut s'intéresser au comportement des dunes, qui ont des vitesses de migration dynamiques sur le secteur au large de Dunkerque.

Benoit WAELES, consultant génie côtier à BW-CGC, présente la différence entre les dunes et les bancs.

La zone du parc éolien comporte quelques bancs, qui constituent des structures d'accumulation sédimentaire sur une échelle pouvant aller jusqu'à plusieurs kilomètres. L'épaisseur du sable est relativement faible entre les bancs. A une échelle plus fine, les bancs portent des dunes sous-marines pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de longueur et une hauteur de quelques mètres à une dizaine de mètres.

La zone au large de Dunkerque présente des caractéristiques morpho-dynamiques très spécifiques. Les dunes ont une structure dont la direction est perpendiculaire à celle du banc sur lequel elles se trouvent. Leur sens de migration s'inverse en fonction de leur position sur les flancs des bancs. Sur le côté nord-ouest des bancs, elles ont tendance à migrer vers le nord-est. Sur les flancs sud-est, vers la côte, elles migrent dans le sens inverse. Par ailleurs, les bancs ont tendance à migrer de quelques mètres par an vers la côte. L'outil de modélisation reproduit ces mouvements et permet donc d'évaluer avec fiabilité les effets liés à la présence des fondations des éoliennes sur la dynamique du site.

Olivier RAILLARD ajoute que le modèle a été utilisé pour prévoir la bathymétrie à quatre ans, à la fois sur le site sans la présence des fondations et en présence des fondations, en prenant en considération l'évolution des conditions de marée et des conditions d'agitation ainsi que l'interaction entre les courants et les fonds. A large échelle, il apparaît que les fondations n'entraînent pas de modification du schéma de migration des dunes ni d'effet sensible sur leur morphologie. A une échelle plus locale, une légère augmentation ou réduction des vitesses de migration est constatée dans certains secteurs de la zone d'étude.

Maxime PLANQUE précise qu'au sein de la zone d'implantation du projet, les fondations ne seront pas installées directement sur les bancs mais plutôt dans les espaces entre ceux-ci, afin d'avoir une profondeur d'eau minimale, nécessaire à l'accès des navires d'installation des ouvrages du parc éolien et à la circulation des bateaux de maintenance.

Olivier RAILLARD indique en outre qu'à une échelle plus fine, les fondations provoquent dans le temps un léger ralentissement de la dynamique des dunes du Ratel.

Les dunes étant portées par des bancs, il faut aussi s'intéresser à la dynamique de ces structures de plus grande échelle. C'est pourquoi l'évolution bathymétrique (c'est-à-dire la hauteur d'eau) a également été simulée, à la fois en présence et sans la présence des fondations des éoliennes, à quatre ans, sur les bancs DOS, Ratel et Breedt. Il ressort que les bancs se déplacent de manière très similaire dans les deux cas simulés. Les fondations n'entraînent donc pas d'impact significatif sur la dynamique des bancs. Un léger ralentissement de la migration vers la côte apparaît à l'extrémité nord-ouest du DOS, en lien avec la présence des fondations. Cependant, cet effet n'a pas d'impact sur d'autres caractéristiques du banc.

Les effets sur la qualité des eaux

Le modèle permet également d'évaluer les effets des travaux d'ensouillage¹ des câbles inter-éoliennes sur la qualité des eaux. En effet, ces travaux vont mobiliser des sédiments à l'intérieur desquels se trouvent des particules fines qui vont générer une augmentation de la turbidité et donc une diminution de la transparence de l'eau. L'étude a été menée sur le tracé d'une tranchée de câbles inter-éoliennes, en tenant compte de ses modalités de réalisation (longueur, profondeur, durée, vitesse), pour évaluer les flux de sédiments émis pendant les travaux et leur répartition dans l'environnement proche du parc par les courants et l'agitation.

Une animation vidéo représentant la modélisation de la turbidité induite par les travaux d'ensouillage de câble est projetée.

Les résultats de la modélisation font apparaître que le panache turbide est cadencé par la marée. Il s'étend donc vers le sud-ouest ou le nord-est en fonction de celle-ci (flot ou jusant). Les concentrations supérieures à 2 mg/l ne s'étendent pas au-delà de 4 kilomètres de la limite du parc. Les panaches n'atteignent pas la côte et disparaissent entre 3 à 11 heures après les travaux. En dehors de la zone d'implantation du parc, la durée de dépassement des seuils de 5 mg/l et 10 mg/l, déterminés en fonction de la turbidité naturelle, est inférieure à 1 heure pendant et après la réalisation des travaux. Le seuil de 10 mg/l est dépassé à proximité de l'atelier pendant une durée de moins de 2 heures. Celui de 5 mg/l n'est jamais dépassé plus de 4 heures excepté à proximité immédiate de l'atelier.

L'intensité et la rythmicité du signal de turbidité lié à la réalisation des travaux ont été étudiées à certains points fixes du tracé d'ensouillage du câble étudié. Le point le plus impacté est celui situé au démarrage de la tranchée. Une trace du signal, avec une concentration très brève mais significative de 4 à 6 mg/l, apparaît à un point relativement distant des travaux. Une rémanence du signal, à un niveau de concentration très faible mais sur plusieurs jours, s'observe au point d'arrivée de la tranchée après la fin des travaux.

En conclusion, les modélisations à l'échelle locale et sur des périodes courtes montrent que le projet entraîne des modifications locales des courants et des vagues à l'échelle temporelle d'une marée et des effets de sillage non cumulatifs portant sur plusieurs centaines de mètres à partir de chaque fondation. Le transport solide n'est pas impacté par la présence des fondations sauf localement. Les faibles différences d'évolution constatées restent localisées à l'intérieur du parc.

S'agissant du déplacement des dunes, le projet ne provoque pas de modification du schéma général de déplacement des dunes à l'échelle du parc. Pour certaines dunes néanmoins, les fondations ont un léger effet sur la vitesse de déplacement, en l'augmentant ou en la ralentissant, sans effet sensible sur leur morphologie : les pentes, crêtes et creux ne sont pas affectés par la présence des fondations.

La lente migration des bancs n'est pas affectée significativement par la présence des fondations. Les effets les plus importants sont observés à l'extrémité nord-ouest du DOS, sans impacter l'ensemble de la structure du banc. Le sens de la migration n'est pas modifié.

Enfin, le projet entraîne localement un accroissement significatif de la turbidité sur des durées limitées et des surfaces réduites, dont il convient d'étudier les impacts sur la faune et la flore halieutique.

¹ Enfouissement d'une canalisation sous-marine (oléoduc, câble) dans le sol marin, après creusage d'une souille.

Suite à la présentation des études menées pour caractériser les effets des ouvrages du parc éolien en mer sur les conditions hydrosédimentaires, un temps d'échange et de questions/réponses est proposé aux participants de l'atelier.

Un participant sollicite des précisions sur les matières en suspension formant la turbidité.

Olivier RAILLARD indique qu'il s'agit de la composante très fine des sédiments, dite « sédiments cohésifs », présente à l'état naturel.

Maxime PLANQUE précise que les éoliennes seront installées sur des fondations dites « monopieu », qui sont des tubes d'acier creux, de grandes dimensions, qui sont fichés dans la couche argileuse sous le sable, par battage et vibrofonçage, ce qui permet de maintenir les fondations en place sans apport de béton.

Un participant souhaite savoir si la granulométrie des éléments déplacés varie au fil de la dispersion. Il demande si les activités conchylicoles, situées en la zone du parc éolien et la côte, peuvent être impactées par le déplacement des éléments les plus fins.

Benoit WAELES explique que les sédiments dont la dispersion est simulée sont issus des vases présentes dans un fond sédimentaire majoritairement sableux. Ces particules de vases seront de temps en temps mises en suspension sous l'effet des vagues et des courants. Les modélisations de vitesse de chute des sédiments dans l'eau montrent que toutes les particules de vase se déposeront autour du tracé du câble quelle que soit leur taille. Les matières en suspension disparaissent très rapidement dans le temps et dans l'espace. Par conséquent, il confirme qu'aucune matière en suspension susceptible de provenir des travaux d'ensouillage des câbles ne sera détectable ni au niveau des zones conchylicoles ni au niveau de la côte.

Un participant sollicite des précisions sur le gradient surface-sol dans les mesures de courant.

Benoit WAELES rappelle que les courants sont toujours plus forts à mesure de l'éloignement du fond. Par ailleurs, il est possible que la direction des courants varie entre le fond et la surface. Les courants ont été analysés dans le cadre de l'étude et le cabinet BW a vérifié que le modèle reproduisait correctement la dynamique des courants. Il apparaît que le modèle reproduit tous les flux sédimentaires des dunes et des bancs, qui ont tendance à migrer vers la côte, malgré l'alternance des courants qui longent la côte en fonction de la marée. Il reproduit également les transports de sédiments transverses aux bancs qui provoquent leur migration de quelques mètres par an vers la côte.

Un participant demande si le bureau d'études a constaté un écrêtement des bancs comme l'avaient observé des scientifiques belges il y a quelques années.

Benoit WAELES explique que les courants ont tendance à rehausser les bancs tandis que les vagues ont tendance à les écrêter. Par conséquent, la hauteur de crête peut varier en fonction du moment du relevé bathymétrique et des séquences de courants et de vagues le précédant. Il est donc possible de constater un écrêtement des bancs entre deux relevés mais celui-ci sera temporaire.

Un participant demande si les simulations sur l'effet de sillage prennent en compte la mise en place d'aménagements permettant d'éviter ou de réduire l'effet d'affouillement au niveau des fondations (des rochers par exemple).

Benoit WAELES confirme que les simulations prennent en compte les protections anti-affouillement constituées de couches d'enrochement. La rugosité des fonds est également renseignée dans le modèle, sachant qu'un fond rugueux contraint davantage l'écoulement qu'un fond sableux.

Olivier RAILLARD ajoute que l'étude comportait une comparaison des impacts hydrodynamiques et hydrosédimentaires entre différents scénarios de protection des fondations.

Un participant demande la confirmation que les hypothèses présentées sont les plus pénalisantes.

Xavier ARNOULD le confirme.

Olivier RAILLARD précise que pour les choix dont le caractère pénalisant n'apparaît pas clairement, l'étude présente une enveloppe des effets, des plus pénalisants aux moins pénalisants.

Caroline FIGUET ajoute que la mission confiée par EMD au cabinet d'études Actimar consistait à modéliser différentes conditions pour respecter le cadre réglementaire des autorisations à caractéristiques variables et pour s'assurer que l'étude d'impact analysait bien le scénario le plus impactant pour l'environnement.

2. Effets des ouvrages du raccordement sur la turbidité

Pauline BRANDT, chargée d'études concertation environnement chez RTE, explique que la double liaison électrique sous-marine permettant le raccordement du parc éolien sera installée dans des fonds marins meubles, ce qui est susceptible d'entraîner une remise en suspension de sédiments lors des travaux d'installation. RTE a mandaté le bureau d'études Acri-In pour réaliser des modélisations de la dispersion du panache turbide qui pourrait être généré dans ce cadre.

Fabrice PLUQUET, docteur ingénieur en géosciences marines chez Acri-In, rappelle que le site concerné par le raccordement électrique du parc éolien en mer de Dunkerque se situe dans une zone marquée à la fois par la présence d'enjeux naturels et par l'implantation d'activités industrielles qui font l'objet d'un suivi environnemental.

Les travaux de pose de câble sur un fond meuble entraîneront la mise en suspension de sédiments marins, plus ou moins importante selon les techniques et les moyens maritimes utilisés pour ces travaux. Les sédiments sont ensuite transportés par les courants et, compte tenu du tracé de la liaison électrique sous-marine qui va du parc éolien au large jusqu'à la côte, peuvent potentiellement modifier l'état initial du milieu marin et impacter les activités économiques (comme les parcs conchylicoles), la qualité des eaux de baignade et l'environnement naturel.

Mandaté par RTE, Acri-In a réalisé une étude de modélisation de la dispersion du panache de turbidité pendant la phase de travaux sur la zone du raccordement électrique du parc éolien en mer de Dunkerque. Cette étude a été menée en deux phases dont la première a consisté à réaliser un état initial de la turbidité à partir de données satellitaires qui permet d'obtenir un bruit de fond de la turbidité sur l'aire d'étude. Cet état initial varie en fonction des saisons et des conditions de forçage du milieu physique et naturel (présence de tempêtes, variations de courants et apports de particules fines par les cours d'eau à l'issue de fortes pluies). Il servira de point de comparaison pour estimer un éventuel impact des travaux d'ensouillage de la liaison sous-marine. La seconde phase de l'étude a consisté en une estimation de l'étendue et la concentration des matières en suspension dans la masse d'eau pendant les opérations de pose de câble à l'aide d'un modèle numérique.

Etat initial de la turbidité

L'état initial de la turbidité sur la zone d'étude a été réalisé à partir de 142 images satellitaires prises entre mai 2016 (date de mise en route des satellites Sentinel de l'Agence Spatiale Européenne) et novembre 2020, date de lancement de l'étude. Ces images ont été utilisées pour estimer la concentration de matières en suspension dans la masse d'eau, sur la base d'algorithmes développés par Acri-In en collaboration avec l'Ifremer de Brest et validés par la communauté scientifique. Les images satellitaires sont calibrées à partir des données d'observations *in-situ* mises à disposition par l'Ifremer.

Pour chaque image, les algorithmes ont fourni les teneurs minimales, maximales et moyennes de particules en suspension dans la masse d'eau. Ces données ont été corrélées avec les données environnementales disponibles à savoir les hauteurs d'eau minimale et maximale enregistrées au marégraphe de Dunkerque, la valeur du marnage et la plus haute vague enregistrée à la date donnée.

Il en résulte des valeurs saisonnières moyennes de la concentration de particules sur l'ensemble de l'aire d'étude pour la période 2016-2020, allant de 16,94 g/m³ en hiver à 9,68 g/m³ en été, les valeurs maximales de turbidité étant liées à la survenue des grandes tempêtes hivernales. Les valeurs annuelles moyennes sont comprises entre 10,19 et 12,92 g/m³. Sur l'ensemble de la période 2016-2020, la concentration moyenne ressort à 11,63 g/m³.

Les cartes montrent par ailleurs d'importantes disparités au sein de l'aire d'étude, la concentration moyenne allant de 4 à 8 g/m³ au large à 20 à 30 g/m³ au niveau de la côte, avec une zone intermédiaire où la concentration moyenne est de 7 à 12 g/m³. De même, la variabilité est beaucoup plus importante au niveau de la côte, atteignant + ou - 15 à 40 g/m³, qu'au large où elle est limitée à + ou - 3 à 6 g/m³.

Effets sur la turbidité en phase travaux

La turbidité en phase de travaux a été modélisée à partir de différents scénarios de pose de la double liaison électrique sous-marine de raccordement.

La modélisation a d'abord porté sur les deux potentiels scénarios de dragage préparatoire envisagés par RTE, à savoir un dragage de base visant à écrêter uniquement le sommet des principales dunes sous-marines par lesquelles passe le tracé du raccordement et un dragage complet incluant en plus un nivellement des mégarides de surface. Pour la double liaison, le volume sédimentaire à extraire pourrait atteindre 230 684 m³ dans le premier scénario et 603 959 m³ dans le deuxième.

Puis, la phase travaux d'ensouillage des câbles a été modélisée.

La dispersion des sources sédimentaires a été modélisée de manière numérique en différentes conditions de marée, en injectant les sédiments fins de façon uniforme sur l'ensemble de la colonne d'eau et en tenant compte des différentes méthodologies de travaux qui seraient potentiellement mises en œuvre pour ensouiller la double liaison électrique sous-marine (dragage, charruage, *vertical injector*, *water-jetting*, trancheuse).

L'étude a consisté à injecter le flux sédimentaire dans le modèle sur une période de 24 heures et à suivre le panache généré pendant 24 heures. Le tracé des câbles a été découpé en différents secteurs en fonction de la nature du fond et de l'épaisseur sédimentaire. La maille appliquée était plus précise sur les zones proches de la côte et au niveau du corridor d'étude de façon à disposer de résultats plus précis au niveau du tracé de la liaison électrique sous-marine.

Une comparaison des données issues du modèle avec celles du marégraphe de Dunkerque a permis de valider leur justesse. De même, le modèle s'est montré capable de mettre en évidence les structures turbides observables sur l'image satellitaire.

D'après les résultats du modèle :

- Le panache de turbidité s'étire suivant une direction est-ouest, le long de la côte, sous l'influence du balancement des courants de marées.
- Le panache de turbidité est légèrement plus dilué en conditions de marées de vive eau.
- Les travaux entraînent un dépassement de façon très localisée des valeurs de turbidité maximale naturelle observées sur l'ensemble de la période 2016-2020.
- Enfin, à proximité immédiate de la plage de Dunkerque, dans le chenal de navigation du GPMD et sur les bancs sableux, le panache de concentration est susceptible de dépasser les valeurs de turbidité moyenne naturelle sur la période 2016-2020 sur plusieurs kilomètres de part et d'autre de la zone de travaux.

Entre les bancs sableux, la turbidité générée dépassant les valeurs de turbidité moyenne naturelle est limitée à la proximité immédiate de la zone de travaux. S'agissant des différentes techniques de travaux envisagées, il apparaît que le panache turbide de concentration maximale créé par la technique d'ensouillage par *vertical injector* s'avère d'une emprise plus réduite que celui engendré lors de l'ensouillage par charruage.

Nicolas VINTRIN précise que la technique de type *vertical injector* peut être intéressante dans les conditions de sol que l'on retrouve au large de Dunkerque. Il s'agit d'un outil de *jetting* permettant d'atteindre des profondeurs d'ensouillage importantes, en envoyant un jet d'eau sous pression très localisé au droit du tracé d'implantation des câbles.

Fabrice PLUQUET précise qu'au niveau de la côte, devant le port de Dunkerque, cette technique engendre un panache légèrement plus important que la charrue parce que le *vertical injector* avance plus lentement dans cette zone qui présente en outre davantage de particules fines. Cette observation vaut pour les premiers 500 mètres du tracé de raccordement depuis la côte.

Claude BREVAN demande si les études géologiques permettent d'assurer que le sol est meuble sur l'ensemble du tracé.

Nicolas VINTRIN confirme que le risque concernant la nature du sol est fortement réduit, mais que les études, réalisées par échantillonnage, ne permettent pas d'exclure totalement la présence ponctuelle de rochers.

Fabrice PLUQUET précise que les modélisations ont été réalisées en tenant compte de la nature des sédiments en surface et à la profondeur impactée par l'outil utilisé.

L'effet du panache turbide a été étudié sur sept sites d'intérêt environnemental : au niveau de l'emplacement du futur poste électrique en mer, au niveau du chenal In Ratel, au niveau de la prise d'eau de la centrale nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Gravelines, au niveau du banc de Saint-Pol, au niveau du secteur ouest de la plage de Malo-les-Bains et au niveau du parc conchylicole, à l'est et à l'ouest.

Pour chacun de ces sites, la valeur de turbidité moyenne naturelle et la valeur maximale issues des images satellitaires ont été comparées aux valeurs issues de la modélisation pour les différentes techniques de travaux. Sur les 1 848 analyses réalisées, la turbidité moyenne naturelle n'est dépassée que dans 32 combinaisons de conditions environnementales. Des dépassements de turbidité moyenne naturelle minimales à faibles, de l'ordre d'une heure, ont été observés au niveau de l'emplacement du futur poste électrique en mer, du CNPE de Gravelines et du chenal In Ratel. En bordure de plage de Malo-les-Bains, un dépassement de la turbidité moyenne naturel à 25 mg/l est atteint pour une phase de dragage par vent nul, en condition de marée de vive eau.

En phase de post-rejets, 24 à 48 heures après les travaux, un risque de dépassement de la teneur en moyenne est observé sur deux sites à savoir la prise d'eau du CNPE de Gravelines et le chenal In Ratel. Ces dépassements s'observent par faible marnage. Par conséquent, il existe un potentiel effet cumulatif sur la période des travaux, sur la partie la plus côtière au niveau de la centrale de Gravelines et sur les secteurs les plus au large du chenal. Selon les résultats de l'ensemble des simulations réalisées, aucun dépassement du seuil S1 de turbidité moyenne naturelle n'a été dépassé sur le banc de Saint-Pol et le parc conchylicole. Pour les sept sites à enjeux industriels ou environnementaux étudiés, le seuil de turbidité maximale naturelle S2 n'a jamais été dépassé.

Un participant souhaite connaître la destination des sédiments dragués lors de la phase préparatoire.

Nicolas VINTRIN indique qu'il est envisagé de les rejeter à proximité de la zone des travaux pour maintenir le stock de sédiments du site.

Un participant demande si la composition chimique, biologique et microbiologique des matières en suspension sera analysée. Il peut en effet exister une forme de pollution non dangereuse quand elle est immobile mais devenant dangereuse quand elle est remuée et remise en suspension.

Pauline BRANDT et **Caroline PIGUET** indiquent que des études de la qualité des eaux et des sédiments ont été menées en amont du projet. Un suivi sera effectué pour s'assurer que les sédiments restent exempts de pollution. Ces études portent sur les mêmes composés que ceux recherchés dans le cadre des opérations de dragage, dont l'*Escherichia coli*, qui constitue un marqueur de contamination, les métaux lourds, l'azote, le carbone organique, etc.

Un participant suggère d'intégrer au suivi le ver polydora.

Claude BREVAN note que les bancs de sable se déplacent vers la côte dans le temps et demande si l'étude est transposable quels que soient les mouvements des bancs dans le temps.

Fabrice PLUQUET précise que les mouvements des bancs de sable interviennent sur des périodes plus longues que celles de l'étude.

Benoit WAELES ajoute que les bancs ne se déplacent que de quatre à cinq mètres par an. Compte tenu de la durée de vie du parc, ce paramètre est négligeable dans l'étude de la turbidité induite et de l'évolution des conditions de courants et de vagues.

Cet atelier, dont l'objectif principal était de partager les résultats des études et des modélisations relatives aux conditions hydrosédimentaires a permis également de répondre à différentes questions des participants, portant notamment sur la structure des fonds marins sur la zone du projet, la qualité des sédiments remis en suspension lors de travaux de réalisation du projet ou encore les interactions entre le projet et les activités conchylicoles.

Cet atelier a également permis d'enrichir les suivis qui seront réalisés, par exemple en y intégrant le ver polydora, sur la proposition d'un participant.

3. Conclusion et perspectives

Xavier ARNOULD remercie les participants pour leur participation et leur attention. Il souligne que cet atelier est particulier puisqu'il ne comporte pas de mesure de limitation des effets du projet sur les conditions hydrosédimentaires mais constitue une introduction intéressante et nécessaire aux études et analyses dédiées au benthos et aux ressources halieutiques.